

무선 센서 네트워크 기술을 이용한 전력 설비 실시간 감시 시스템 구현

Implementation of Real-time Power Facility Monitoring System Using WSN

김영일, 조선구, 이봉재, 송재주, 신진호

Young-Il Kim, Seon-Ku Cho, Bong-Jae Yi, Jae-Ju Song, Jin-Ho Shin

Abstract - In the electric power industry, It is important that the supply of energy must always be guaranteed. To satisfy these requirements, various forms of technologies are needed, such as RFID tag, reader, sensor network, middleware and so on. WSN (Wireless Sensor Network) technologies of the electric power industry are in the early stage and there is no clear guideline for developing electric facility management system using WSN. Relevant experience is limited, the challenge will be to derive requirement from business practice and to determine whether it is possible or not. To explore this issue, we focus on researching and field test of prototype system in Korea Electric Power Corporation (KEPCO). In this paper we describe requirement from power industry. And we introduce design and implementation of the power facility monitoring system.

Key Words : 전력설비, 실시간 감시, 구현, 무선 센서 네트워크, WSN

1. 서론

전력산업에서는 전력설비에 대한 정확한 수명이나 고장 시점 등을 예측할 수 없고, 항상 고장이 발생할 가능성을 내포하고 있게 된다. 따라서 전력산업에서 가장 중요한 요인은 고장 요인을 사전에 파악하고 이에 대비함으로써 안정적인 전력 공급을 통해 산업 전반의 안정화를 보장해야 하는 것이다. 현재 한국전력공사(이하 한전)에서는 안정적인 전력 공급을 위하여 다양한 연구를 진행하고 있다. 송전 선로의 주요 전국적으로 연결되어 있는 송전 선로에 대한 감시를 위해 다양한 감시 시스템을 개발하여 운영하고 있다. 이러한 감시 시스템을 통해 수집된 데이터를 이용하여 다양한 시뮬레이션 모델을 개발하는데 활용할 수 있게 된다[1]. 이러한 시스템은 대부분 송전선로에 통신을 위하여 광케이블을 연결하거나, 전력선 통신 등을 이용하여 정보를 교환하게 된다. 이러한 유선을 이용한 통신 방식을 사용하는 경우에는 전력 공급의 목적을 위한 설비 이외에도 통신을 위한 설비를 추가적으로 설치하고 이를 관리하기 위한 비용이 발생하게 된다. 전국을 감시해야 하는 송전 선로의 경우에는 통신을 위한 망을 구축하는 비용은 이러한 감시 시스템을 구축하는데 큰 장애 요소가 된다.

송전 첩담의 경우에는 산악 지형을 위주로 설치되어 CDMA와 같은 상용 통신망을 통한 서비스도 음영 지역이 많

아 설치에 어려움이 있다. 배전망의 경우에는 각 설비들의 부하를 실시간 감시할 수 있도록 CDMA와 TCP/IP 통신 등과 같은 기술을 이용하여 현장의 설비의 부하를 원격지에서 직접 감시할 수 있는 시스템을 연구하여 운영하고 있다[2]. 이 경우에는 실시간 감시를 위해 감시 및 보고를 위한 통신 주기를 짧게 할수록 통신비용이 많이 발생하게 되어 이에 대한 비용 절감의 필요성이 부각되고 있다.

최근에는 무선 네트워크 기술이 발달됨에 따라 기존에 유선을 이용하여 구축되던 센서 네트워크가 무선 통신을 이용한 센서 네트워크 (WSN: Wireless Sensor Network)로 변화되어 가고 있다. WSN의 경우에는 기존에 유선 통신으로 운영되고 있는 다양한 목적의 시스템을 무선 통신을 이용하도록 수정함으로써 설비의 구축비용과 유지 보수비용을 대폭 절감하고, 손쉽게 현장에 적용할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

본 연구에서는 전력설비의 과부하 여부를 파악하기 위해 다양한 센서를 이용하여 지하 전력구에 대한 선로의 온도 감시와 가스 감시 기능을 제공하는 지하 전력구 감시 테스트베드 시스템과 을 구현하였다. 본 연구에서는 지하 전력구에서 활용 가능한 무선 통신 방식과 다양한 센서를 통한 무선 센서 네트워크의 상용화 가능성 등에 대한 연구를 진행하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 전력 설비에 대한 감시와 관련된 연구를 설명하며, 3장은 지하 전력구 감시를 위한 요구사항을 분석하며, 4장은 지하 전력구 감시 테스트베드 시스템에 대한 설계 및 구현을 설명하며, 5장은 결론과 향후 연구로 이루어진다.

2. 관련연구

저자 소개

김영일: 한국전력공사 전력연구원 전력정보기술그룹
조선구: 한국전력공사 전력연구원 전력정보기술그룹 그룹장
이봉재: 한국전력공사 전력연구원 전력정보기술그룹 책임
송재주: 한국전력공사 전력연구원 계통기술기획팀 선임
신진호: 한국전력공사 전력연구원 전력정보기술그룹 선임

고전적인 아날로그 방식으로 운영되던 송배전 선로는 정보통신 기술이 발달함에 따라서 다양한 형태의 디지털 기술을 도입하여 선로에 대한 안정성을 유지하였다. 초기의 선로 감시 방식은 운영자가 직접 점검하고, 의사결정을 통해 고장을 수리하는 방식으로 운영되었다. 그러나 이러한 방식은 의사결정을 위한 가용한 데이터가 적어 많은 불합리성을 내포하고, 비효율적인 방식으로 운영되는 문제점이 있다. 오늘날에는 다양한 형태의 전자 기기들이 개발되면서 선로에 대한 감시와 조정의 기능을 제공하는 시스템들이 개발되어 시스템 간의 정보 전달이 용이하게 되었다. 이러한 자동화된 감시 데이터들은 하나의 시스템으로 취합되어 다양한 형태의 분석 자료로 사용되게 된다.

이러한 선로 감시를 위해 많이 사용하는 장치가 전압과 전류를 원격에서 감시하는 장치로 많은 연구가 진행되고 있다 [3]. 각 장치에서 수집한 전압 및 전류 정보를 이용하여 다양한 형태의 네트워크를 구성하여 이를 활용하게 된다. 그러나 이러한 장치들은 고압에서도 안정적으로 동작하고, 전압과 전류를 측정하기 위한 고비용의 장치들을 필요로 하고 있어 중요 지점에서만 부분적으로 설치하여 운영이 가능한 정도이다. 또한 선로의 정기적인 검사를 위해 로봇을 이용하여 선로를 따라 이동하면서 점검하는 방식도 연구가 진행되고 있다 [4].

기존에는 감시 장치를 통해 수집된 정보는 유선망을 이용하여 중앙으로 전달하게 된다. 이러한 경우에 감시 장치에 대한 설치 뿐만 아니라 통신을 위한 망을 구축하기 위한 비용도 추가적으로 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 별도의 설치와 통신망이 필요가 없는 무선 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전력 산업에서도 CDMA와 무선랜, 블루투스, ZigBee와 같은 다양한 무선 통신을 활용한 방식들을 연구 개발하고 있다. CDMA와 무선랜의 경우에는 무선은 사용하여 자체 통신망을 구축하지 않는다고 하더라도, 무선 통신 장치를 구동하기 위한 상용 전력이 필요하게 되어 송전 선로에 추가적으로 통신 장치를 위한 저전력선의 설치가 필요하게 된다. 따라서 최근에 등장한 블루투스와 ZigBee와 같은 초저전, 소형화된 무선 통신 방식을 이용한 저전력 통신이 각광을 받고 있다. 블루투스의 경우에는 주로 유선으로 연결된 짧은 거리의 전자 장치들을 대체하기 위해 개발되어 비교적 전력 소모가 많으며, 높은 통신 대역폭을 제공한다. ZigBee는 확장성이 좋으며, 설치가 용이하고, 전력 소모가 적은 무선 통신을 제공하며 산업 현장에서 주로 활용하기 위하여 개발되었다.

3. 요구사항 분석

관련연구에서 언급한 전력설비 감시 방식들은 비교적 정교하면서 고가의 비용을 들여 위험 요소가 많은 지역에서 운영할 수 있는 방식들이다. 직접 선로의 전압과 전류를 측정하는 방식에 반하여 한전에서는 전력설비의 외부에 발생하는 열을 측정하여 선로의 과부하 여부를 감시하는 순시 점검 방식을 사용하고 있다. 변전소의 경우에는 주변담기, 차단기 등에서 과부하시 열이 발생하기 쉬운 지점에 특정 온도에서 색이 변하는 써머테이프를 부착하고 변색 여부를 순시자가 육

안으로 점검하는 방식을 사용하고 있으며, 지하 전력구의 경우에는 순시자가 적외선 카메라를 이용하여 전력선의 외부 온도를 측정하여 과열 여부를 조기 진단하게 된다.

최근에는 유비쿼터스 컴퓨팅에 대한 기술이 발달되면서 무선 센서 네트워크를 활용하여 작업 현장에 대한 감시 기술이 발달하고 있다. 전력산업에서도 이러한 기술을 이용하여 전력 설비를 감시하고 조정하는 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 지하 전력구 내의 전력선의 외부 온도를 센서를 통해 측정하여 전력선의 과열 여부를 측정하고, 이 결과를 무선 네트워크를 통해 관리 시스템에 전송하는 시스템을 개발하였다. 지하 전력구에 약 300m 단위로 설치된 접속부위에 표면 온도를 측정할 수 있는 센서를 설치하고 이를 통해 표면 온도 정보를 수집하여 선로의 과열 정보를 파악하게 된다. 또한 지하에 폐쇄되어 있는 전력구는 유독 가스로 인한 안전 사고가 발생할 수 있으므로 가스 탐지 센서를 통해 실시간으로 가스를 탐지하여 보고하도록 지하 전력구 감시 시스템을 개발하였다

4. 시스템의 설계 및 구현

본 연구에서는 지하 전력구내의 전력선의 표면 온도와 가스를 측정하기 위하여 다양한 형태의 센서를 이용하였다. 기본적으로 지하 전력구 내에서의 통신은 무선 통신을 사용하며 상용 전원을 사용하지 않고 배터리만으로 동작하도록 라우터 노드를 설계하였다. 일반적으로 ZigBee 네트워크에서는 라우터 노드의 경우 상용 전원을 사용하여 안정적으로 네트워크를 구성하게 되지만, 본 연구에서는 상용 전원을 설치하지 않고 무선 네트워크를 구성하는 것을 목적으로 하여 개발하였다. 지하 전력구의 경우에는 통신 케이블을 대신하여 하나의 노드의 통신이 허용하는 간격으로 라우터 노드를 설치하여 사용하는 방식을 사용하였다. 따라서 모든 라우터 노드에 고유 ID를 정하고 자신의 선후 관계에 있는 노드에게 데이터를 전송하는 정적 라우팅을 사용하였다. 이 방식은 비록 새로운 노드가 추가되거나 기존 노드가 제거될 경우에 동적으로 라우팅 테이블을 변경할 수는 없지만, 라우팅 테이블을 재구성하기 위하여 발생하는 통신을 최소화 할 수 있다. 또한 지하전력구의 경우 직선형으로 구성되며 동적 라우팅이 무의미하기 때문에 정적 라우팅을 이용하였다.

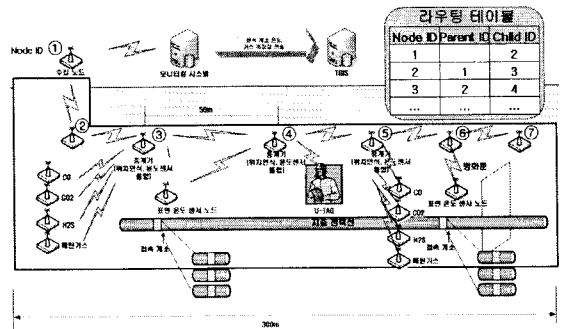


그림 1. 네트워크 개념도 및 라우팅 테이블

전체 네트워크는 스타형과 트리형 구조를 병합한 형태를 갖고 있다. 작업자의 위치를 파악하고, 기본적인 대기 온도를 측정하는 센서가 선형 트리 형태로 기본 라우팅 네트워크를

구성하고, 일산화탄소, 이산화탄소, 황화수소, 산소, 메탄가스, 표면 온도 센서 노드가 스타형태로 중계노드에 연결되어 네트워크를 구성하게 된다.

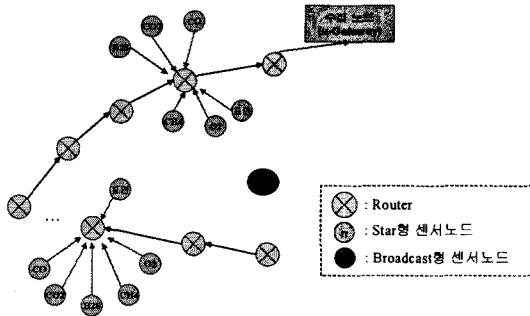


그림 2. 네트워크 구성도

수집노드는 상용 전원을 공급받으면서 항상 깨어있으면서 하위에 있는 노드들의 동기화 및 데이터 수집 역할을 맡게 된다. 무선 통신을 통해 수집된 데이터는 TCP/IP 기반의 프로토콜을 통해 미들웨어로 전달하게 된다.

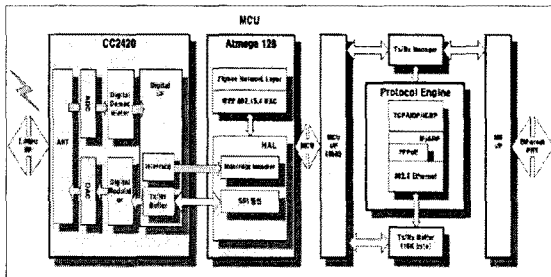


그림 3. 수집노드의 하드웨어 구성도

최초로 센서 노드가 전원을 켜게 되면 자신의 부모 노드에 게 네트워크에 대한 조인(join) 메시지를 일정 시간 간격으로 전송하게 된다. 이 메시지는 이미 네트워크를 구성하고 있는 부모 노드들을 거쳐 수집노드에 도착하게 되며 수집노드는 조인에 대한 수락을 해당 노드에 전달하게 되며, 이후에는 수집노드에서 주기적으로 동기화 메시지를 발신하게 되어 해당 네트워크에 센서 노드들 간의 동기를 관리하게 된다.

전체 네트워크는 일정 시간 간격으로 sleep과 wake up을 병행하면서 저전력 상태를 유지하게 된다. 본 연구에서는 다양한 형태의 센서에 대하여 sleep시와 wake up 시의 전력 소모량을 측정하였다.

센서종류	sleep시	wake up시	sensing시
온도센서	10~20 μ Ah	26.5mAh	5.0mAh
표면온도센서	1.05mAh	28.5mAh	8.4mAh
일산화탄소센서	100 μ Ah	39.5mAh	30.1mAh
황화수소센서	10~20 μ Ah	27.1mAh	7.3mAh
산소센서	1.9mAh	28.5mAh	9.0mAh
메탄센서	330 μ Ah	28.5mAh	30.4mAh

표 1. 센서별 소모 전력 측정값

온도센서의 경우에는 회로가 가장 간단하고 센싱을 위해 필요한 전력이 가장 적어 가장 저전력인 형태이다. 각 센서들마다 동작 방식이 다양하여 각 시스템들이 기본적으로 소모하는 전력이 다 차이가 있다. 황화수소나 산소 센서의 경우에는 가스를 탐지하는 방식이 저전력으로 개발이 되어 적은 전력을 소모하지만, 일산화탄소나 메탄가스 센서의 경우에는 주위의 공기를 연소시켜 측정하는 방식으로 동작하여 많은 전력을 소모하게 된다. 따라서 각 센서들의 수명을 계산을 통해 예측하고 배터리를 관리할 필요가 있다. 본 연구에서는 각 센서 노드에 전원 측정 장치를 부착하여 각 노드의 전압을 체크하고 있다. 각 센서는 일정 전압 이상 유지되지 않을 경우 정확한 센싱 값을 얻기가 어렵기 때문에 일정 전압 이하로 떨어질 경우에는 관리자에게 배터리 교환 시기를 알려주게 된다.

4. 결론 및 향후 연구

전력산업에서 송배전 선로에 대한 감시는 안정적인 전력 공급을 위해 가장 중요한 요소이다. 이를 위해 다양한 형태의 감시 시스템들을 구축하여 운영중에 있으나 과도한 설치 및 유지 비용으로 인해 제한된 영역에서 활용되고 있다. 본 연구에서는 무선 센서 네트워크를 이용하여 저렴한 비용으로 손쉽게 구축하여 관리할 수 있는 감시 시스템을 개발하고 이를 실제 현장에서 적용해 봄으로써 실용성을 판단하고자 한다. 본 논문에서는 지하 전력구와 같은 직선형 무선 네트워크에 알맞은 정적 라우팅과 조인 정책 등을 설명하고, 다양한 센서들을 무선 네트워크에 접목하고 저전력으로 운영하기 위한 연구 결과를 보여주고 있다. 향후에는 각 센서별로 상이한 전력 소모량을 최소화 할 수 있는 회로 구조를 설계하고, sleep 등과 같은 대기 시간에 저전력을 제공할 수 있도록 하는 연구를 진행할 것이며, 송전선로 감시등과 같은 직선형의 센서 네트워크에 알맞은 저전력의 동적 라우팅 알고리즘을 개발하고, 실제 현장에서 안정적으로 운영할 수 있는 시스템으로 업그레이드 하는 것을 목적으로 하고 연구를 진행하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] B. Lee, et al, "Development of Wide Area Measurement and Transient Stability Monitoring System in Korea", 39th Session 2002, CIGRE.
- [2] 박창호, 노황래, 김준오, "CDMA 무선 데이터통신을 이용한 배전용변압기 원격감시 기술개발", 대한전기학회 학회 학술대회, 7월, 2000, pp. 483-485.
- [3] E. Nishiyama, K. Kuwanami, M. Kawano, T. Matsuda, I. Oota, "Development of portable equipment for monitoring currents and voltages of power transmission lines", ISIE 2002, Vol 3. 26~29 May 2002, pp. 964-969
- [4] Peungsungwal, S, Pungsiri, B, Chamnongthai, K, Okuda, M. "Autonomous Robot for a Power Transmission Line Inspection", Circuits and Systems, 2001. Volume 3, pp. 121 - 124.